

# Hypothesen des Universums: Labyrinth oder Irrgarten?

Heinz Oberhummer  
Atominstitut der Österreichischen Universitäten  
Technische Universität Wien

*Die Grenzen unseres Wissens sind besonders deutlich ausgeprägt bei unseren heutigen Bild des Universums. Eine dieser Grenzen hat mit der Feinabstimmung der Parameter des Universums für die Existenz von Leben zu tun.*

## Aufbau und Entwicklung des Universums

Die Sterne sind im Universum nicht gleichmäßig verteilt, sondern bilden Galaxien (Abbildung 1), die durch die Schwerkraft der gesamten Materie zusammengehalten werden. Die Milchstraße, in der sich unser Sonnensystem befindet, umfasst mindestens hundert Milliarden Sterne. Galaxien bilden wieder Galaxienhaufen, in denen sich bis zu mehrere tausend Galaxien zusammenfinden können (Abbildung 2). Der Raum zwischen den Sternen ist jedoch nicht leer, sondern es befinden sich dazwischen die sogenannten interstellaren Wolken, das sind ausgedehnte Staub- und Gaswolken (Abbildung 3).



Abb. 1. Galaxien wie diese beinhalten bis zu mehreren hundert Milliarden Sterne [NASA].



Abb. 2. Galaxien sammeln sich auf Grund der Schwerkraft zu Galaxienhaufen zusammen. Hier zu sehen der Coma-Haufen [NASA].

Nach heutiger Ansicht entstand das Universum vor 14 Milliarden Jahren in einem heißen Urknall. Das Universum war in den ersten Bruchteilen der ersten Sekunde so heiß, dass es zunächst nur aus Fundamentarteilchen bestand. Das Universum kühlte sich durch seine Ausdehnung rasch ab, so dass sich zunächst die Quarks zu den Protonen und Neutronen vereinigten. Etwa drei Minuten nach dem Urknall fusionierten dann Protonen und Neutronen hauptsächlich weiter zu Heliumkernen.

Die ersten Sterne haben sich innerhalb weniger hundert Millionen Jahre nach dem Urknall aus diesem Gas gebildet. Die erste Sternengeneration bestand demnach fast ausschließlich aus Wasserstoff und Helium. Wenn es die Sterne nicht geben würde, bestünde unser Universum aus einer langweiligen Gaswolke aus Wasserstoff und Helium. Es gäbe dann keine Planeten wie die Erde, keine Gesteine und auch kein Leben. Durch Kernreaktionen im Innern der Sterne werden aber weitere chemische Elemente gebildet, darunter für das Leben so existentielle Stoffe wie Kohlenstoff und Sauerstoff. Leben besteht also im buchstäblichen Sinne des Wortes aus Sternenstaub. Am Ende ihres Lebens blähen sich die Sterne zu so genannten Roten Riesen auf. Auch unsere Sonne wird sich in etwa fünf Milliarden Jahren so entwickeln. Wenn der Energievorrat eines Roten Riesen zu Ende geht, stößt er die äußere Hüllen ab und wird als Planetarischer Nebel sichtbar. Sehr massereiche Sterne explodieren jedoch als Supernova. Dadurch werden die interstellaren Wolken immer mehr mit den in den Sternen erzeugten chemischen Elementen angereichert (Abbildung 3). Am Ende bleibt nur noch das Zentrum des ausgebrannten Sterns über: ein Weißer Zwerg, ein Neutronenstern oder ein Schwarzes Loch.

Im Innern der interstellaren Wolken entstehen stets neue Sterne und Planeten. Auch unser Sonnensystem entstand in einer solchen Wolke vor etwa 4,6 Milliarden Jahren. Die in früheren Generationen von Sternen erzeugten Elemente dienten dem auf Kohlenstoff basierenden Leben als Bausteine. Bereits etwa eine halbe Milliarde Jahre nach der Entstehung der Erde gab es erste primitive Lebensformen. Es dauerte jedoch noch einmal etwa drei bis vier Milliarden Jahre, bis das Leben von den ersten primitiven Organismen die heutige Komplexität der Pflanzen, Tiere und des Menschen erreichen konnte.



Abb. 3. Der Raum zwischen den Sternen ist nicht leer. Dort befinden sich ausgedehnte Wolken aus Staub und Gas [NASA].

### Die Feinabstimmung des Universums

Die meisten Naturwissenschaftler hegen die Anschauung, dass die fundamentalen Naturgesetze einen objektiven Ursprung besitzen und nicht Zufälligkeiten oder gar menschliche Konstrukte sind. Auf der anderen Seite sind manche der numerischen Feinabstimmungen und Koinzidenzen viel zu ausgeklügelt, als dass sie noch mit unserem Sinn für „Natürlichkeit“ in Einklang gebracht werden können.

Die Feinabstimmung der Werte von wenigen physikalischen Parametern sind von entscheidender Bedeutung für die Existenz von Leben. Im Folgenden werden wir einige dieser physikalischen Parameter in Bezug auf ihre anthropische Bedeutung untersuchen. Diese Parameter beziehen sich auf die grundlegenden Kräfte und der Häufigkeit von Materie und Antimaterie in unserem Universum.

Es gibt vier grundlegende Kräfte in unserem Universum: die Gravitation, die elektromagnetische Kraft, die schwache und starke Kernkraft. Wir wollen uns nun mit der Fragestellung beschäftigen, inwieweit die Stärke dieser Kräfte für die Existenz von Leben extrem fein abgestimmt sind.

Die erste Untersuchung dieser Art betrifft die Feinabstimmung der starken Kernkraft beziehungsweise der mit ihr zusammenhängenden starken Wechselwirkung. Wie bereits dargestellt, werden die für das Leben notwendigen Elemente in Sternen erzeugt. Im so genannten Heliumbrennen der Roten Riesen ist die grundlegende Kernreaktion der Tripel-Alpha-Prozess. In ihm vereinigen sich zunächst zwei Alphateilchen (Heliumkerne) zu einem Berylliumkern, der nur eine Lebensdauer von  $10^{-16}$  s hat, bevor er wieder in zwei Alphateilchen zerfällt. In dieser kurzen Zeit muss ein Berylliumkern ein weiteres Alphateilchen einfangen um einen Kohlenstoffkern erzeugen zu können (Abbildung 4). Ein Teil des im Tripel-Alpha-Prozess entstehenden Kohlenstoffs wird dann im Heliumbrennen durch den Einfang eines weiteren Alphateilchens zum Sauerstoff weiter verbrannt.

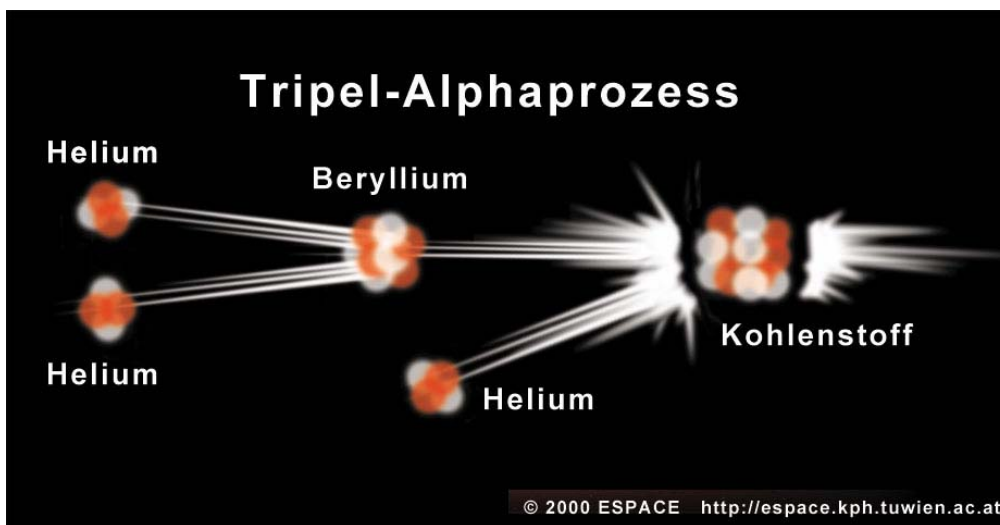


Abb. 4. Im Tripel-Alpha-Prozess wird in Roten Riesen Kohlenstoff erzeugt. Dabei vereinigen sich zunächst zwei Heliumkernen zu einem Berylliumkern. Während der extrem kurzen Lebensdauer des Berylliumkerns muss ein dritter Heliumkern eingefangen werden, um einen Kohlenstoffkern zu bilden (ESPACE).

Der englische Astrophysiker Sir Fred Hoyle machte 1952 die Beobachtung, dass die Rate der Kohlenstoffbildung nicht ausreicht, um die Herkunft des im Universum vorhandenen Kohlenstoffs zu erklären. Dies führte ihn zu der bemerkenswerten Vorhersage, dass der Tripel-Alpha-Prozess über eine Resonanz im Kohlenstoffkern verlaufen muss. Diese hypothetische Resonanz sollte die Reaktionsrate des Tripel-Alpha-Prozesses um viele Größenordnungen erhöhen. Tatsächlich wurde eine solche Resonanz dann auch experimentell nachgewiesen. Dies ist wahrscheinlich der einzige Fall, bei dem aus der Existenz von Leben im Universum der Ausgang eines Laborexperiments vorhergesagt wurde. Schon daraus geht die Besonderheit und Bedeutung der Tripel-Alpha-Reaktion in Bezug auf die Existenz von Leben im Universum hervor.

Der spätere Nobelpreisträger William Fowler war von Hoyles Voraussage derart beeindruckt, dass er sich entschloss, auf dem Forschungsgebiet der Vereinigung von Kern- und Astrophysik, der nuklearen Astrophysik, zu arbeiten. Neue experimentelle Daten und die Möglichkeit aufwändiger Computersimulationen bewegen mich dazu, den Tripel-Alpha-Prozess genauer zu analysieren.

Das Ergebnis der Rechnungen für die Entstehung von Kohlenstoff durch den Tripel-Alpha-Prozess in Roten Riesen war sehr verblüffend: Wäre die Kernkraft nur um einem halben Prozent oder mehr schwächer, wäre die Häufigkeit von Kohlenstoff im Universum um ein Hundertstel bis ein Tausendstel des tatsächlichen Werts geringer. Damit wäre auch kohlenstoffbasiertes Leben extrem unwahrscheinlich. Nur Kohlenstoff hat nämlich die notwendigen Eigenschaften zur Bildung der komplexen und sich selbst organisierenden Moleküle, die für das Leben notwendig sind.

Im Laufe dieser Untersuchungen zeigte sich dann, dass auch für eine um mehr als ein halbes Prozent stärkere Kernkraft kohlenstoffbasiertes Leben extrem unwahrscheinlich wäre. In diesem Fall allerdings wäre die Häufigkeit von Sauerstoff und damit auch des für das Leben unabdingbaren Wassers  $H_2O$  um das Hundert- bis Tausendfache kleiner. Diese Feinabstimmung ist wirklich erstaunlich: Sowohl bei Erhöhung als auch Verringerung der starken Kernkraft um 0,5% wird Leben extrem unwahrscheinlich, wenn nicht sogar gänzlich unmöglich.

Eine weitere Feinabstimmung betrifft die Häufigkeit von Materie und Antimaterie in unserem Universum. Die vorhandene Materie im Universum ist eine Folge der winzigen Asymmetrie zwischen Materie und Antimaterie. Nach dem Urknall gab es in unserem Universum nur einen minimalen Anteil von einem Milliardstel mehr Materie als Antimaterie. Wären beide Materiearten gleich häufig gewesen, hätten sich alle Teilchen und Antiteilchen bereits innerhalb der ersten Sekunde nach dem Urknall gegenseitig vernichtet. In diesem Fall gäbe es im Universum nur elektromagnetische Strahlung, keine Materie und damit auch kein Leben. Das Leben in unserem Universum ist also eine Folge des minimalen Überschuss der Materie, die nicht schon gleich nach dem Urknall mit der vorhandenen Antimaterie zerstrahlt ist.

## **Multiversum**

Anfang der achtziger Jahre entwickelten Kosmologen das Modell der inflationären Expansion. Es sollte einige Unzulänglichkeiten der „klassischen“ Urknalltheorie erklären. Sie besagt, dass sich das Universum zu Beginn innerhalb eines Bruchteils der ersten Sekunde nach dem Urknall exponentiell aufgebläht hat. Kosmologen haben in letzter Zeit festgestellt, dass im Modell der Inflation auch ein Ensemble von unterschiedlichen Universen erzeugt werden kann, das man als Multiversum bezeichnet. Im Modell der selbstreproduzierenden ewigen Inflation können nicht nur verschiedene Universen mit unterschiedlichen Parametern existieren, sondern solche Bereiche auch in alle Ewigkeit immer wieder neu gebildet werden.

Im Fall eines Multiversum mit vielen unterschiedlichen Universen bietet unser Universum offensichtlich die Voraussetzung für Leben, während die meisten anderen Universen höchstwahrscheinlich steril in Bezug auf Leben sind. Das Konzept eines Multiversums ist höchst spekulativ und wird es möglicherweise auch bleiben, da die anderen Universen prinzipiell von uns nie beobachtet werden können. Diese Hypothese beinhaltet aber zumindest eine plausible Basis für anthropische Überlegungen. Denn so ergibt sich auf ganz natürlich Weise, dass unser Universum die richtige Feinabstimmung hat, um Leben hervorbringen zu können. Die überwiegende Zahl der anderen Universen wird nicht so beschaffen sein.

## **Konsequenzen jenseits der Physik**

Normalerweise beschäftigt sich ein Physiker in seiner Arbeit nicht mit Fragen, die jenseits der physikalischen Forschung liegen. Fragestellungen über die Feinabstimmung des Universums reichen aber naturgemäß hart bis an die Grenzen der Physik heran und öffnen damit das Fenster auch zu anderen Wissenschaftsdisziplinen wie den Geisteswissenschaften. Es gibt eine umfangreiche Literatur, in der Überlegungen und Auswirkungen der Feinabstimmung auf andere Wissenschaftsdisziplinen behandelt und diskutiert werden. Vor allem in der Philosophie, aber auch in der Theologie sind solche Fragestellungen immer mehr im Zentrum des Interesses.

Man kann auch Analogien zwischen möglichen Erklärungen der Feinabstimmung des Universums zum Labyrinth und Irrgarten finden:

- Hypothese des Zufalls: „Das Universums ist eben so und braucht keine weitere Erklärung“. Die Analogie wäre in diesem Fall, dass kein Interesse an der Form des Irrgartens oder Labyrinths besteht.
- Hypothese unseres begrenzten Wissens: „Das Universum muss feinabgestimmt für Leben sein. Es existiert daher auch eine endgültige fundamentale Theorie, welche die Feinabstimmung erklären kann.“ Die Analogie wäre hier das Labyrinth. Es gibt auch im Labyrinth gibt nur einen einzigen vorgegebenen Weg zum Zentrum.
- Multiversum-Theorie: „Es gibt unendlich viele unterschiedliche Universen. Wir leben in einem Universum das lebensfreundlich ist, während andere Universen steril sind“. Die

Analogie wäre hier der Irrgarten. Auch im Irrgarten gibt es viele unterschiedliche Abzweigungen, wobei die meisten jedoch in Sackgassen enden.

### **Zusammenfassung**

Es existieren in der modernen Physik mehrere eindrucksvolle Beispiele der Feinabstimmung des Kosmos für die Existenz von Leben. Diese Feinabstimmungen erhalten durch die Möglichkeit der Existenz von unendlich vielen Universen (Multiversum) nun auch eine fundiertere Basis. Darüber haben physikalische Untersuchungen der Feinabstimmung des Universums Konsequenzen für eine endgültige „Theorie für Alles“ und sind zu einer wahren Fundgruppe für Wissenschaftsdisziplinen jenseits der Physik geworden.

## ***ANHANG***

### **Ein denkwürdiges Treffen**

Vom 29. August bis 1. September 2001 trafen sich im Haus des britischen astronomer royal, Sir Martin Rees, etwa 30 Kosmologen, Astrophysiker, Astronomen, Kern- und Teilchenphysiker, um zu diskutieren, inwieweit unser Universum für Leben maßgeschneidert ist (Abb. 5). Zwei entscheidende Fragen standen bei diesem Treffen zur Diskussion:

1. Inwieweit ist unser Universum für die Existenz von Leben maßgeschneidert?
2. Kann die besondere Abstimmung unseres Universums für Leben durch eine noch zu findende endgültige Theorie für Alles erklärt werden? Oder ist das alternative Modell richtig, dass unser Universum nur eines von unendlich vielen Universen ist, in dem die physikalischen Gesetze offensichtlich Leben zulassen?

Während des Workshops bildeten sich zwei gegensätzliche Gruppen. Eine Gruppe, zu der beispielsweise Stephen Hawking gehörte, glaubt, dass nicht unbedingt ein Ensemble von Universen notwendig ist. Und eine endgültige Theorie für Alles könnte sehr wohl die für das Leben genau abgestimmten Gesetze unseres Universums erklären.

Auf der anderen Seite war eine Gruppe, die ein Ensemble von unterschiedlichen Universen (Multiversum) bevorzugt. Zu ihr gehört Andrei Linde, der Begründer der Theorie der ewigen Inflation des Kosmos. In seiner Theorie ergibt sich auf natürliche Weise eine unendliche Zahl von Universen, die sich durch verschiedene physikalische Gesetze und Parameter unterscheiden. Auf diese Weise kann man verstehen, warum in diesem Szenario in unserem Universum offensichtlich die physikalischen Gesetze und Parameter derart sind, dass Leben in unserem Universum existieren kann, während andere Universen zum Großteil steril in Bezug auf Leben sind. Es ist natürlich nicht ganz auszuschließen, aber zumindest sehr schwer vorstellbar, dass eine Theorie für Alles für nur ein einziges Universum auch genau die fein abgestimmten lebensnotwendigen physikalischen Parameter erklären könnte.



Abb. 5. Stephen Hawking zusammen mit dem Autor des Beitrags bei der Konferenz in Cambridge (Foto: Max Tegmark).

**Der Autor:**

Heinz Oberhummer, geb. 1941, Studium der Physik und Promotion an der Univ. Graz, seit 1988 Professor an der TU Wien, Leiter der Arbeitsgruppe Nukleare Astrophysik; Gastforscher und Gastprofessor an zahlreichen Universitäten und Forschungsinstitutionen in den USA, Frankreich, Deutschland, Schweiz, Norwegen, Polen und Ungarn. Über 160 wissenschaftliche Veröffentlichungen, davon mehr als 100 in referierten Zeitschriften, 4 Bücher, mehr als 330 Vorträge, Posters und Multimedia-Präsentationen bei wissenschaftlichen Tagungen, an Universitäten und Forschungszentren, mehrere populärwissenschaftliche Artikel und Vorträge, Leiter von 25 Forschungsprojekten, Organisation von 12 Konferenzen und Workshops Betreuung von über 64 Diplomarbeiten und 18 Dissertationen.

Anschrift: Prof. Dr. Heinz Oberhummer, Atominstitut der Österreichischen Universitäten, Technische Universität Wien, Wiedner Hauptstr. 8-10, A-1040 Wien, Österreich. Email: [ohu@kph.tuwien.ac.at](mailto:ohu@kph.tuwien.ac.at)